

## DEMANDE INTERNATIONALE PUBLIÉE EN VERTU DU TRAITE DE COOPERATION EN MATIÈRE DE BREVETS (PCT)

(51) Classification internationale des brevets <sup>7</sup> : <b>G01T 1/24, 1/29</b>	<b>A1</b>	(11) Numéro de publication internationale: <b>WO 00/63723</b> (43) Date de publication internationale: 26 octobre 2000 (26.10.00)
---	-----------	--

(21) Numéro de la demande internationale: PCT/FR00/00917

(22) Date de dépôt international: 11 avril 2000 (11.04.00)

(30) Données relatives à la priorité:  
99/04725 15 avril 1999 (15.04.99) FR

(71) Déposant (pour tous les Etats désignés sauf US): COMMISSARIAT A L'ENERGIE ATOMIQUE [FR/FR]; 31-33, rue de la Fédération, F-75752 Paris 15ème (FR).

(72) Inventeur; et

(75) Inventeur/Déposant (US seulement): GERSTENMAYER, Jean-Louis [FR/FR]; 35 bis, rue des Trois Fermes, F-91400 Orsay (FR).

(74) Mandataire: RICHARD, Patrick; Brevatome, 3, rue du Docteur Lancereaux, F-75008 Paris (FR).

(81) Etats désignés: CA, IL, JP, US, brevet européen (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Publiée

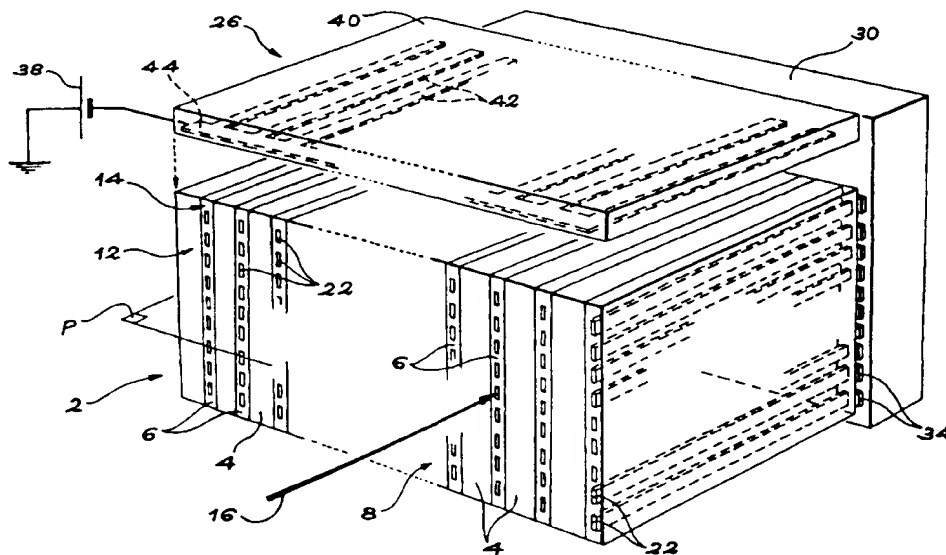
Avec rapport de recherche internationale.

(54) Title: TWO DIMENSIONAL IONIZING RADIATION DETECTOR AND METHOD FOR THE PRODUCTION THEREOF

(54) Titre: DETECTEUR BIDIMENSIONNEL DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET PROCEDE DE FABRICATION DE CE DETECTEUR

## (57) Abstract

The detector comprises films (4) that emit particles by interaction with ionizing radiation, semi-conductor layers (6) that alternate with said films and which can be ionized by the particles, and groups of conductor strips (22) which are in contact with the layers. Means (26) for creating an electric field enable the current carriers produced in the layers by interaction with the particles to be collected via the strips. A layer and corresponding strips are, for example, formed on each film and the films are assembled. The invention can, for example, be applied to radiography and enables high efficiency in terms of x-ray detection, combined with high spatial resolution.



(57) Abrégé

Ce détecteur comprend des feuilles (4) émettant des particules par interaction avec un rayonnement ionisant, des couches semiconductrices (6) alternant avec les feuilles et ionisables par les particules et des groupes de pistes conductrices (22) en contact avec les couches. Des moyens (26) de création d'un champ électrique permettent la collection, par les pistes, de porteurs de charge engendrés dans les couches par interaction avec les particules. On forme par exemple sur chaque feuille la couche et les pistes correspondantes et on assemble les feuilles. L'invention s'applique par exemple à la radiographie et permet de combiner une forte efficacité de détection des rayons X et une résolution spatiale élevée.

UNIQUEMENT A TITRE D'INFORMATION

Codes utilisés pour identifier les Etats parties au PCT, sur les pages de couverture des brochures publiant des demandes internationales en vertu du PCT.

AL	Albanie	ES	Espagne	LS	Lesotho	SI	Slovénie
AM	Arménie	FI	Finlande	LT	Lituanie	SK	Slovaquie
AT	Autriche	FR	France	LU	Luxembourg	SN	Sénégal
AU	Australie	GA	Gabon	LV	Lettonie	SZ	Swaziland
AZ	Azerbaïdjan	GB	Royaume-Uni	MC	Monaco	TD	Tchad
BA	Bosnie-Herzégovine	GE	Géorgie	MD	République de Moldova	TG	Togo
BB	Barbade	GH	Ghana	MG	Madagascar	TJ	Tadjikistan
BE	Belgique	GN	Guinée	MK	Ex-République yougoslave de Macédoine	TM	Turkménistan
BF	Burkina Faso	GR	Grèce	ML	Mali	TR	Turquie
BG	Bulgarie	HU	Hongrie	MN	Mongolie	TT	Trinité-et-Tobago
BJ	Bénin	IE	Irlande	MR	Mauritanie	UA	Ukraine
BR	Bésil	IL	Israël	MW	Malawi	UG	Ouganda
BY	Bélarus	IS	Islande	MX	Mexique	US	Etats-Unis d'Amérique
CA	Canada	IT	Italie	NE	Niger	UZ	Ouzbékistan
CF	République centrafricaine	JP	Japon	NL	Pays-Bas	VN	Viet Nam
CG	Congo	KE	Kenya	NO	Norvège	YU	Yougoslavie
CH	Suisse	KG	Kirghizistan	NZ	Nouvelle-Zélande	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	République populaire démocratique de Corée	PL	Pologne		
CM	Cameroun	KR	République de Corée	PT	Portugal		
CN	Chine	KZ	Kazakstan	RO	Roumanie		
CU	Cuba	LC	Sainte-Lucie	RU	Fédération de Russie		
CZ	République tchèque	LI	Liechtenstein	SD	Soudan		
DE	Allemagne	LK	Sri Lanka	SE	Suède		
DK	Danemark	LR	Libéria	SG	Singapour		
EE	Estonie						

DÉTECTEUR BIDIMENSIONNEL DE RAYONNEMENTS IONISANTS ET  
PROCÉDÉ DE FABRICATION DE CE DÉTECTEUR

DESCRIPTION

DOMAINE TECHNIQUE

5                   La présente invention concerne un détecteur  
bidimensionnel de rayonnements ionisants ainsi qu'un  
procédé de fabrication de ce détecteur.

                  A titre d'exemple, l'invention est  
utilisable pour détecter les photons X, les photons  
10 gamma, les protons, les neutrons et les muons.

                  L'invention s'applique notamment aux  
domaines suivants :

- expérimentations en détonique,
- contrôle non destructif rapide,
- 15 - positionnement de patients en radiothérapie,
- physique des hautes énergies,
- neutronographie,       protonographie,       radiographie,  
      gammagraphie,
- chirurgie sous radioscopie, et
- 20 - sécurité dans les aéroports.

ÉTAT DE LA TECHNIQUE ANTÉRIEURE

                  On connaît déjà des détecteurs  
bidimensionnels de rayonnements ionisants qui sont  
constitués de plaques faites d'un métal lourd comme le  
25 plomb ou, plus généralement, d'un matériau capable  
d'interagir avec un rayonnement ionisant incident.

A titre d'exemple, il est connu d'utiliser un métal de numéro atomique  $Z$  supérieur ou égal à 73 pour la détection de photons X ou gamma et un matériau de numéro atomique  $Z$  généralement inférieur à 14 ou supérieur à 90 pour la détection de neutrons. D'autres matériaux, tels que le Gadolinium ( $Z=64$ ), sont également utilisables pour détecter des neutrons.

Les plaques sont percées de trous par attaque chimique ou électrochimique et isolées électriquement les unes des autres si cela est nécessaire (lorsque l'épaisseur des plaques vaut quelques centaines de micromètres ou plus).

Les trous sont remplis d'un gaz ionisable.

Un photon incident X ou gamma, de haute énergie, engendre alors, par effet Compton ou effet de création de paires, au moins un photo-électron dans l'une des plaques du détecteur.

Ce photon incident X ou gamma communique à cet électron un mouvement rapide, avec une énergie cinétique de l'ordre de grandeur de celle du photon incident ; cet électron rapide ionise alors certaines molécules du gaz contenu dans l'un des trous auquel parvient l'électron et que ce dernier traverse en général.

Les électrons secondaires lents, qui sont arrachés à ces molécules du fait de l'ionisation de ces dernières, sont guidés le long de ce trou et collectés à l'aide d'un champ électrique de polarisation (« bias »), encore appelé champ électrique de dérive (« drift »), puis détectés par exemple dans une chambre à ionisation ou dans une chambre à avalanches proportionnelles.

De tels détecteurs bidimensionnels sont par exemple décrits dans les documents [1], [2], [3], [4] et [5] qui sont mentionnés à la fin de la présente description.

5           Le choix d'une structure de détection à trous vient de ce qu'une telle structure est connue pour être très favorable à l'obtention d'une bonne résolution spatiale et d'un bon rendement, à condition que les trous soient parfaitement formés et  
10           suffisamment larges.

          Une attaque chimique (« chemical etching ») est utilisée pour former ces trous : elle est préférée à la découpe par jet d'eau qui engendre un choc frontal lors de l'ouverture du jet, au commencement du perçage  
15           d'un trou.

          Ce choc frontal écaille le matériau dans lequel on veut former les trous, ce qui provoque un éclatement de ce matériau et le rend impropre à une utilisation.

20           Mais l'attaque chimique est une technique lente et coûteuse.

          De plus, le rendement de collection des électrons secondaires et donc le rendement de ces détecteurs à trous sont limités du fait de  
25           l'utilisation de cette technique : seulement 10% à 30% des électrons secondaires créés à chaque ionisation du gaz sont collectés.

          En effet, une attaque chimique ne permet pas d'obtenir des trous dont les parois internes soient  
30           suffisamment cylindriques car elle engendre des étranglements dans les trous, ce qui déforme les lignes du champ électrique et réduit le diamètre utile de ces

trous, d'où un rendement global limité pour les détecteurs à trous.

## EXPOSÉ DE L'INVENTION

La présente invention a pour but de  
5 remédier à ces inconvénients de coût élevé et de rendement limité.

De façon précise, la présente invention a pour objet un détecteur bidimensionnel d'un rayonnement ionisant incident constitué de premières particules, ce  
10 détecteur comprenant un empilement de feuilles d'un premier matériau qui est apte à émettre des deuxièmes particules par interaction avec le rayonnement ionisant incident, ce détecteur étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :

- 15 - des couches d'un matériau semiconducteur qui alternent avec les feuilles du premier matériau et sont capables d'être ionisées par les deuxièmes particules, chacune des couches étant associée à l'une des feuilles, l'empilement ayant des première  
20 et deuxième faces opposées, contenant chacune des bords respectifs des feuilles et des couches, le détecteur étant destiné à être orienté de façon que le rayonnement ionisant arrive sur la première face, la longueur de chaque feuille, comptée de la première  
25 à la deuxième face, étant au moins égale au dixième du libre parcours moyen des premières particules dans le premier matériau,
- des groupes de pistes parallèles et électriquement conductrices qui s'étendent de la première à la  
30 deuxième face, parallèlement aux couches, chaque groupe étant associé à l'une des couches et en

contact avec celle-ci, les pistes étant destinées à collecter des porteurs de charge qui sont engendrés dans les couches par interaction de celles-ci avec les deuxièmes particules et éventuellement avec les premières particules et qui sont représentatifs, en intensité et en position, des premières particules, et

5 - des moyens de création d'un champ électrique apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

10 Le détecteur objet de l'invention est réalisable avec un coût beaucoup plus faible que celui des détecteurs à trous, mentionnés plus haut.

De plus, le rendement de collection et la résolution spatiale du détecteur objet de l'invention sont susceptibles d'être très supérieurs à ceux de ces détecteurs à trous.

Selon un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention, le premier matériau est électriquement conducteur, les pistes sont électriquement isolées des feuilles et les moyens de création du champ électrique comprennent des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes et les feuilles, cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

25 De préférence, chaque groupe de pistes est contenu dans la couche à laquelle il est associé.

Dans ce cas, selon un autre mode de réalisation particulier, le premier matériau est électriquement conducteur et les moyens de création du champ électrique comprennent des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes et les

feuilles, cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

Selon un autre mode de réalisation particulier, les feuilles sont électriquement isolantes, une couche électriquement conductrice est interposée entre chaque couche de matériau semiconducteur et la feuille qui lui est associée et les moyens de création du champ électrique comprennent des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes et les couches électriquement conductrices, cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

Le matériau semiconducteur peut être de type cristallin, céramique, vitreux, amorphe ou polymère.

Il peut être choisi dans le groupe comprenant le diamant en couche mince, CdTe, ZnTe, CdZnTe, AsGa notamment de type  $\text{AsGaAl}_x\text{P}_{1-x}$  ( $0 < x < 1$ ), InP, InSb, SiC, le silicium cristallin, le silicium amorphe, les cristaux organiques comme par exemple l'anthracène, le naphthalène et le PPV, le sélénium amorphe et le verre chalcogénure ( $\text{As}_2\text{S}_3$ ).

Le détecteur objet de l'invention peut comprendre en outre un dispositif électronique de lecture des signaux électriques fournis par les pistes lorsque celles-ci collectent les porteurs de charge.

Selon un mode de réalisation préféré de l'invention, une extrémité de chaque piste est recourbée pour s'étendre sur un bord de la couche correspondante de matériau semiconducteur, ce bord étant situé sur la deuxième face de l'empilement, et le dispositif comprend des plots électriquement



conducteurs qui sont respectivement en contact avec les extrémités recourbées des pistes.

La présente invention concerne aussi un procédé de fabrication du détecteur objet de l'invention.

Selon ce procédé on forme, sur chaque feuille, une couche du matériau semiconducteur, cette couche étant munie du groupe de pistes qui lui est associé et l'on assemble les feuilles munies des couches de matériau semiconducteur et des pistes pour obtenir l'empilement où ces couches de matériau semiconducteur alternent avec les feuilles.

Selon un mode de mise en oeuvre particulier du procédé objet de l'invention, on forme sur chaque feuille une première couche de matériau semiconducteur dont l'épaisseur est inférieure à celle de ladite couche de matériau semiconducteur, on forme le groupe de pistes sur cette première couche et l'on forme, sur la première couche, une deuxième couche de matériau semiconducteur qui recouvre ces pistes, l'épaisseur totale des première et deuxième couches étant égale à l'épaisseur de ladite couche de matériau semiconducteur.

On peut aussi déposer, sur deux faces opposées de deux feuilles successives, une demi-couche du matériau semiconducteur puis former sur l'une des demi-couches le groupe de pistes et assembler les feuilles ainsi recouvertes pour obtenir l'empilement où les couches alternent avec les feuilles.

BRÈVE DESCRIPTION DES DESSINS /

La présente invention sera mieux comprise à la lecture de la description d'exemples de réalisation donnés ci-après, à titre purement indicatif et nullement limitatif, en faisant référence aux dessins annexés sur lesquels :

- la figure 1 est une vue en perspective schématique d'un mode de réalisation particulier du détecteur objet de l'invention,
- 10 • la figure 2 est une vue en coupe transversale schématique du détecteur de la figure 1, selon le plan P de celle-ci,
- la figure 3 est une vue en perspective coupée schématique d'un autre détecteur conforme à l'invention, et
- 15 • la figure 4 est une vue en perspective schématique et partielle d'un autre détecteur conforme à l'invention.

#### EXPOSÉ DÉTAILLÉ DE MODES DE RÉALISATION PARTICULIERS

Un détecteur de rayonnement ionisant conforme à l'invention est schématiquement représenté en perspective sur la figure 1 et en coupe transversale suivant un plan P sur la figure 2.

Dans l'exemple représenté, le rayonnement ionisant est constitué de photons X qui ont par exemple une énergie de 5 MeV.

Le détecteur des figures 1 et 2 comprend un empilement 2 de feuilles 4 d'un matériau électriquement conducteur qui est apte à émettre des électrons par interaction avec les photons X du rayonnement ionisant incident.

Ce détecteur comprend aussi des couches 6 d'un matériau semiconducteur qui alternent avec les feuilles 4 et sont capables d'être ionisées par les photo-électrons émis par le matériau conducteur lorsque celui-ci interagit avec les photons X et éventuellement directement, bien que dans une moindre proportion, par les photons X primaires.

Chacune des couches 6 est associée à l'une des feuilles 4.

10 L'empilement des feuilles 4 et des couches 6 a une première face 8 et une deuxième face 10 qui sont opposées.

Chacune des faces 8 et 10 contient des bords 12 des feuilles 4 et des bords 14 des couches 6  
15 qui alternent avec les bords 12 des feuilles 4.

Le détecteur des figures 1 et 2 est orienté de façon que le rayonnement ionisant à détecter arrive sur la face 8.

La longueur de chaque feuille 4, comptée de  
20 la face 8 à la face 10, est au moins égale au dixième du libre parcours moyen des photons X dans le matériau conducteur dont sont constituées les feuilles 4.

Comme on le voit sur les figures 1 et 2, un photon X incident, dont la trajectoire a la référence  
25 16 sur les figures 1 et 2, interagit avec le matériau conducteur d'une feuille 4 pour produire, par effet Compton, photoélectrique ou de création de paires, un électron de grande énergie cinétique, dont la trajectoire est représentée par la flèche 18 sur la  
30 figure 2.

On a également représenté par une flèche 20 sur la figure 2 la trajectoire du photon d'énergie inférieure à celle du photon X incident, qui résulte de

l'interaction de ce dernier avec le matériau conducteur de la feuille 4.

Le détecteur des figures 1 et 2 comprend aussi des groupes de piste 22 parallèles et  
5 électriquement conductrices qui s'étendent de la face 8 à la face 10, parallèlement aux couches 6.

Chaque groupe de pistes 22 est associé à l'une des couches 6 et en contact avec celle-ci.

Les pistes 22 sont destinées à collecter  
10 des porteurs de charge qui sont engendrés dans les couches 6 par interaction de celles-ci avec les électrons résultant de l'interaction des photons X incidents avec le matériau conducteur dont sont faites les feuilles 4.

15 Ces porteurs de charge sont représentatifs, en intensité et en position, des photons X incidents.

On voit sur la figure 2 un porteur de charge dont la trajectoire a la référence 24 et qui résulte de l'interaction de l'électron ayant la  
20 trajectoire 18 avec une couche 6 et ce porteur de charge ayant la trajectoire 24 est collecté par une piste conductrice 22 associée à cette couche 6.

Le détecteur comprend aussi des moyens 26 (figure 1) de création d'un champ électrique apte à  
25 provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes 22.

A titre purement indicatif et nullement limitatif, le détecteur des figures 1 et 2 est disposé de façon que les feuilles 4 et les couches 6 soient  
30 horizontales ou, au contraire, verticales mais d'autres orientations sont envisageables, suivant l'utilisation qui est faite du détecteur.

Il convient simplement que les feuilles 4 et les couches 6 soient sensiblement parallèles à la direction du rayonnement ionisant à détecter.

Dans l'exemple représenté sur les figures 1 et 2, chaque groupe de pistes conductrices 22 est contenu dans la couche 6 à laquelle est associé ce groupe.

Cela évite d'avoir à utiliser des supports électriquement isolants (par exemple en matière plastique ou en céramique) pour les pistes, supports qui sont encombrants, ce qui diminue la résolution spatiale du détecteur, et qui sont d'ailleurs inutiles à la détection proprement dite.

Dans le cas de ces figures 1 et 2, les moyens 26 de création du champ électrique sont des moyens d'application d'une tension électrique entre les pistes 22 et les feuilles 4, cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes 22.

On précise que le plan de coupe P (figure 2) traverse les pistes conductrices d'une même rangée de pistes (rangée qui est horizontale sur la figure 1), les pistes de cette rangée appartenant respectivement aux couches 6.

Dans un mode de réalisation particulier non représenté, le matériau constitutif des feuilles 4 est encore électriquement conducteur mais les pistes 22 ne sont plus contenues dans les couches 6 de matériau semiconducteur : chaque groupe de pistes se trouve à l'interface de la couche de matériau semiconducteur correspondante et de la feuille de matériau conducteur qui est associée à une couche adjacente de matériau semiconducteur.

Dans ce cas, on prévoit un matériau électriquement isolant pour isoler électriquement les pistes 22 des feuilles 4 de matériau conducteur mais l'on peut encore utiliser les mêmes moyens de création de champ électrique que précédemment.

Le détecteur des figures 1 et 2 est muni d'un dispositif électronique 30 de lecture des signaux électriques fournis par les pistes 22 lorsque celles-ci collectent les porteurs de charge.

On voit sur la figure 2 qu'une extrémité 32 de chaque piste 22 est recourbée pour s'étendre sur un bord 14 de la couche 6 correspondante, ce bord étant situé sur la face 10 de l'empilement des feuilles 4 et des couches 6.

Le dispositif électronique de lecture 30 comprend des plots électriquement conducteur 34 qui sont respectivement en contact avec les extrémités recourbées 32 des pistes 22.

Ce contact peut être réalisé par l'intermédiaire de boules 36 de brasure, par exemple des boules d'indium, ou par l'intermédiaire de fils électriquement conducteurs ou même en appliquant les extrémités recourbées des pistes contre les plots du dispositif de lecture associé, par des moyens appropriés, par exemple par pressage ou avec une colle électriquement conductrice.

On précise que les plots 34 sont disposés suivant le même pas que les extrémités recourbées 32 des pistes 22.

On peut utiliser un matériau semiconducteur non dopé ou, au contraire, un matériau semiconducteur dopé par exemple de type N, auquel cas les électrons

sont les porteurs de charge majoritaires, ou de type P, auquel cas les porteurs majoritaires sont les trous.

Pour collecter les porteurs de charge, on peut mettre les feuilles conductrices 4 à un potentiel négatif et les plots conducteurs 34 (et donc les pistes 22) à la masse ou mettre les feuilles 4 à la masse et les plots conducteurs 34 (et donc les pistes 22) à un potentiel positif.

Dans les deux cas les trous engendrés dans les couches 6 de matériau semiconducteur sont attirés par les feuilles 4 de matériau conducteur tandis que les électrons engendrés dans ces couches 6 sont attirés par les pistes 22 et collectés par celles-ci, fournissant ainsi des signaux électriques qui sont lus grâce au dispositif 30.

Inversement on peut porter les feuilles 4 à un potentiel positif et mettre les plots 34 à la masse ou mettre les feuilles 4 à la masse et porter les plots 34 à un potentiel négatif. Dans les deux cas les électrons sont attirés par les feuilles et les trous sont attirés par les pistes et collectés par celles-ci, fournissant encore des signaux électriques qui sont lus grâce au dispositif 30.

Dans chaque cas, les pistes 22 convertissent, sous forme numérique et électrique, l'image analogique qui est transportée par les rayons X que l'on détecte.

Dans l'exemple représenté sur la figure 2, toutes les pistes 22 sont mises à la masse par l'intermédiaire des plots électriquement conducteurs 34 et l'on porte à un potentiel négatif toutes les feuilles de matériau conducteur 4 grâce à une source de tension 38.

Dans ce cas, les pistes 22 collectent des électrons.

Pour porter à un potentiel négatif (par exemple égal à -500 V) toutes les feuilles 4 de matériau conducteur on utilise une plaque électriquement isolante 40 sur une face de laquelle sont formées des pistes 42 parallèles électriquement conductrices dont la pas est égal à celui des feuilles 4.

Toutes ces pistes 42 sont reliées à une piste 44 également formée sur cette face de la plaque 40 et cette piste 44 est reliée à la source de tension négative 38.

On applique alors la face de la plaque 40 portant les pistes 42 sur une face de l'empilement 2 sur laquelle apparaissent également des bords des feuilles 4, cette face étant différente des faces 8 et 10, de telle manière que les pistes 42 viennent respectivement en contact avec les bords des feuilles 4, ce qui permet de porter toutes ces feuilles 4 au potentiel négatif souhaité.

La plaque 40 est par exemple en céramique ou en polymère et les pistes 42 et 44 en or.

De préférence, pour des raisons d'encombrement et de vitesse de lecture, le dispositif électronique de lecture 30 est du genre de ceux qui sont utilisés dans les capteurs CCD.

Pour un détecteur de dimensions modestes, on peut connecter directement les pistes 22 de l'empilement 2 aux pixels d'un capteur CCD sans revêtement (« coating »).

Dans le cas d'un détecteur de plus grandes dimensions, on peut prévoir une matrice de connexion



intermédiaire entre les pistes 22 de l'empilement 2 et le dispositif de lecture par exemple de type CCD.

Les plots conducteurs 34 se trouvent alors sur l'une des faces de cette matrice pour être  
5 respectivement connectés aux extrémités recourbées 32 des pistes 22 et ces plots sont électriquement reliés aux pixels d'un dispositif de lecture par exemple de type CCD par l'intermédiaire de connexions électriques qui traversent cette matrice.

10 L'épaisseur d'un détecteur conforme à l'invention comme par exemple le détecteur de la figure 1, cette épaisseur étant comptée de la face 8 à la face 10, peut être du même ordre de grandeur que l'épaisseur d'un détecteur à trous du genre de ceux qui ont été  
15 décrits plus haut, cette épaisseur étant adaptée en fonction du pouvoir d'arrêt recherché.

Il convient de noter que le matériau constitutif des feuilles 4 peut être chimiquement inerte ou mauvais conducteur de l'électricité (on  
20 considérera par la suite un cas où il est isolant), contrairement au matériau électrochimiquement usinable que l'on doit utiliser pour les détecteurs à trous.

Les épaisseurs des feuilles 4 de matériau conducteur (ou isolant comme on le verra plus loin) et  
25 des couches 6 de matériau semiconducteur sont fixées pour optimiser la résolution spatiale du détecteur et le rendement de conversion (conversion et collection des charges). De préférence, on recherche les épaisseurs les plus petites possibles, typiquement de  
30 l'ordre de 100  $\mu\text{m}$  à quelques centaines de micromètres.

A titre d'exemple on peut utiliser des feuilles 4 de matériau conducteur dont l'épaisseur est de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$  et des couches 6 de matériau

semiconducteur dont l'épaisseur est de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$ .

Il convient de noter que, dans les détecteurs à trous de l'art antérieur, l'épaisseur des  
5 feuilles de métal, comptée perpendiculairement à la direction du rayonnement incident, est fixée pour que ces feuilles puissent être attaquées chimiquement (épaisseur de l'ordre de 200  $\mu\text{m}$ ).

Dans la présente invention, cette  
10 contrainte est sans objet et l'épaisseur des feuilles 4 de matériau (conducteur ou isolant) et des couches 6 de matériau semiconducteur est entièrement fixée par les contraintes d'application.

Il convient également de noter que la  
15 structure d'un détecteur conforme à l'invention permet d'améliorer de façon spectaculaire le rendement (de l'ordre de 50%), avec une épaisseur appropriée de matériau suivant la direction du rayonnement à détecter, et la résolution spatiale qui peut être de  
20 l'ordre de 100  $\mu\text{m}$  en choisissant un pas approprié pour les pistes 22.

En effet, dans la direction perpendiculaire aux feuilles 4 la résolution spatiale est déterminée par le pas entre les feuilles 4 et entre les pistes  
25 (qui peut être de l'ordre de 50  $\mu\text{m}$  à 200  $\mu\text{m}$ ).

Pour la détection de rayons X, on utilise de préférence un métal lourd, par exemple du tungstène ou du plomb.

A titre purement indicatif et nullement  
30 limitatif, dans le cas où l'on veut détecter des photons X dont l'énergie vaut 5 MeV, on utilise un détecteur de 2 cm d'épaisseur (comptée de la face 8 à la face 10 de la figure 1), des couches 6 en CdTe ou en

diamant de 100  $\mu\text{m}$  d'épaisseur et des feuilles 4 de tungstène de 400  $\mu\text{m}$  d'épaisseur avec des pistes 22 au pas de 0,5 mm. Ces dimensions peuvent être réduites si cela est nécessaire, un pas de 100  $\mu\text{m}$  étant technologiquement réalisable.

On explique maintenant un exemple de procédé de fabrication du détecteur des figures 1 et 2.

Les feuilles 4 de matériau conducteur peuvent être réalisées par un procédé quelconque.

Leur surface doit être suffisamment conductrice et non oxydée.

Cette surface peut être revêtue, si cela est nécessaire, d'un dépôt métallique plus adapté à la réalisation d'un contact ohmique avec le matériau semiconducteur, par exemple une couche d'or.

Pour former sur les couches 6 de matériau semiconducteur les pistes 22 qui peuvent être en or ou en un métal mieux adapté au semiconducteur utilisé, on peut procéder de la façon suivante :

- on dépose une première épaisseur de matériau semiconducteur (par exemple 50  $\mu\text{m}$ ) sur l'une des faces de l'une des feuilles conductrices 4 par exemple par dépôt chimique en phase vapeur (« chemical vapor deposition »), par épitaxie, par coulage en bande, par dépôt en phase liquide ou par un dépôt sol-gel,
- on dépose des pistes 22 en or ayant par exemple une largeur de 5  $\mu\text{m}$  par évaporation à travers un masque ou par un procédé de photolithographie, sur le matériau semiconducteur ainsi déposé, et
- on dépose une deuxième épaisseur de matériau semiconducteur sur la première épaisseur de manière à recouvrir les pistes 22 et à obtenir l'épaisseur

totale souhaitée de matériau semiconducteur (par exemple 100  $\mu\text{m}$ ).

On procède de même pour chaque feuille conductrice 4.

5           En variante, on peut aussi déposer, sur deux faces opposées de deux feuilles successives, une demi-couche du matériau semiconducteur puis former sur l'une des demi-couches le groupe de pistes.

10           Les feuilles conductrices 4 ainsi recouvertes sont alors empilées de façon à obtenir l'alternance de feuilles conductrices 4 et de couches de matériau semiconducteur 6 et sont maintenues au contact les unes des autres par une légère pression qui est exercée par des moyens appropriés, par exemple un  
15           dispositif mécanique, ou par une colle électriquement conductrice.

          Le détecteur conforme à l'invention, qui est schématiquement représenté en perspective coupée sur la figure 3, diffère de celui de la figure 1 par le  
20           fait que les feuilles 4 sont électriquement isolantes, par exemple en matière plastique, dans le cas de la figure 3, en vue de détecter par exemple des neutrons, et par le fait que l'on interpose entre chaque feuille de matériau isolant 4 et la couche de matériau  
25           semiconducteur correspondante une couche mince (épaisseur de l'ordre de 5  $\mu\text{m}$  à 10  $\mu\text{m}$ ) électriquement conductrice 46 par exemple en or ou en cuivre, comme on le voit sur la figure 3.

          Dans ce cas on peut encore porter toutes  
30           les couches électriquement conductrices 46 au potentiel électrique souhaité par rapport aux pistes 22, par l'intermédiaire de pistes électriquement conductrices

du genre des pistes 42 formées sur la plaque isolante 40 (figure 1).

La figure 4 est une vue en perspective schématique et partielle d'une variante de réalisation du détecteur de la figure 1.

Dans le détecteur de la figure 4, chaque couche 6 est une nappe de fils juxtaposés 6a faits du matériau semiconducteur, chaque fil contenant, suivant son axe, un fil métallique constituant une piste 22.

Les fils 6a munis de ces pistes 22 peuvent être obtenus par extrusion ou filage.

Les documents cités dans la présente description sont les suivants :

- [1] V. Perez-Mendez, S.I. Parker, IEEE Trans. Nucl.Sci. NS-21 (1974) 45
- [2] S.N. Kaplan, L. Kaufman, V. Perez-Mendez, K. Valentine, Nuclear Instruments and Methods 106 (1973) 397
- [3] A.P. Jeavons, G. Charpak, R.J. Stubbs, NIM 124 (1975) 491-503
- [4] Jean-Louis Gerstenmayer, Damien Lebrun et Claude Hennion, « Multistep parallel plate avalanche chamber as a 2D imager for MeV pulsed radiography », Proc. SPIE, vol.2859, p.107 à 114, colloque du 7 au 8 août 1996, Denver, Colorado, U.S.A.
- [5] J.L. Gerstenmayer, « High DQE performance X- and Gamma-ray fast imagers : emergent concepts », 1998 Symposium on Radiation Detection and Measurement, Ann Arbor, Michigan, 11 au 14 mai 1998,

Proceedings in Nuclear and Methods in Physics  
Research A.

## REVENDICATIONS

1. Détecteur bidimensionnel d'un rayonnement ionisant incident constitué de premières particules, ce détecteur comprenant un empilement (2) de feuilles (4) d'un premier matériau qui est apte à émettre des deuxièmes particules par interaction avec le rayonnement ionisant incident, ce détecteur étant caractérisé en ce qu'il comprend en outre :
- des couches (6) d'un matériau semiconducteur qui alternent avec les feuilles du premier matériau et sont capables d'être ionisées par les deuxièmes particules, chacune des couches étant associée à l'une des feuilles, l'empilement ayant des première (8) et deuxième (10) faces opposées, contenant chacune des bords respectifs (12, 14) des feuilles et des couches, le détecteur étant destiné à être orienté de façon que le rayonnement ionisant arrive sur la première face (8), la longueur de chaque feuille, comptée de la première à la deuxième face, étant au moins égale au dixième du libre parcours moyen des premières particules dans le premier matériau,
  - des groupes de pistes (22) parallèles et électriquement conductrices qui s'étendent de la première à la deuxième face, parallèlement aux couches (6), chaque groupe étant associé à l'une des couches et en contact avec celle-ci, les pistes étant destinées à collecter des porteurs de charge qui sont engendrés dans les couches par interaction de celles-ci avec les deuxièmes particules et éventuellement avec les premières particules et qui sont représentatifs, en intensité et en position, des premières particules, et

- des moyens (26) de création d'un champ électrique apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes (22).

2. Détecteur selon la revendication 1, dans lequel le premier matériau est électriquement conducteur, les pistes (22) sont électriquement isolées des feuilles et les moyens de création du champ électrique comprennent des moyens (26) d'application d'une tension électrique entre les pistes (22) et les feuilles (4), cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

3. Détecteur selon la revendication 1, dans lequel chaque groupe de pistes (22) est contenu dans la couche (6) à laquelle il est associé.

4. Détecteur selon la revendication 3, dans lequel le premier matériau est électriquement conducteur et les moyens de création du champ électrique comprennent des moyens (26) d'application d'une tension électrique entre les pistes (22) et les feuilles (4), cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.

5. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 et 3, dans lequel les feuilles (4) sont électriquement isolantes, une couche (46) électriquement conductrice est interposée entre chaque couche (6) de matériau semiconducteur et la feuille (4) qui lui est associée et les moyens de création du champ électrique comprennent des moyens (26) d'application d'une tension électrique entre les pistes (22) et les couches électriquement conductrices (46), cette tension étant apte à provoquer la collection des porteurs de charge par les pistes.



6. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 5, dans lequel le matériau semiconducteur est choisi dans le groupe comprenant le diamant en couche mince, CdTe, ZnTe, CdZnTe, AsGa et ses alliages, InP, InSb, SiC, le silicium cristallin, le silicium amorphe, les cristaux organiques, le sélénium amorphe et le verre chalcogénure  $As_2S_3$ .

7. Détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 6, comprenant en outre un dispositif électronique (30) de lecture des signaux électriques fournis par les pistes (22) lorsque celles-ci collectent les porteurs de charge.

8. Détecteur selon la revendication 7, dans lequel une extrémité (32) de chaque piste est recourbée pour s'étendre sur un bord (14) de la couche correspondante (6) de matériau semiconducteur, ce bord étant situé sur la deuxième face (10) de l'empilement (2), et le dispositif (30) comprend des plots électriquement conducteurs (34) qui sont respectivement en contact avec les extrémités recourbées (32) des pistes (22).

9. Procédé de fabrication du détecteur selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans lequel on forme, sur chaque feuille (4), une couche (6) du matériau semiconducteur, cette couche étant munie du groupe de pistes (22) qui lui est associé et l'on assemble les feuilles munies des couches de matériau semiconducteur et des pistes pour obtenir l'empilement (2) où ces couches de matériau semiconducteur alternent avec les feuilles (22).

10. Procédé selon la revendication 9, dans lequel on forme sur chaque feuille (4) une première couche de matériau semiconducteur dont l'épaisseur est

inférieure à celle de ladite couche (6) du matériau  
semiconducteur, on forme le groupe de pistes (22) sur  
cette première couche et l'on forme, sur la première  
couche, une deuxième couche de matériau semiconducteur  
5 qui recouvre ces pistes, l'épaisseur totale des  
première et deuxième couches étant égale à l'épaisseur  
de ladite couche (6) de matériau semiconducteur.

11. Procédé de fabrication du détecteur  
selon l'une quelconque des revendications 1 à 8, dans  
10 lequel on dépose, sur deux faces opposées de deux  
feuilles (4) successives, une demi-couche du matériau  
semiconducteur puis on forme sur l'une des demi-couches  
le groupe de pistes (22) et l'on assemble les feuilles  
ainsi recouvertes pour obtenir l'empilement où les  
15 couches alternent avec les feuilles.

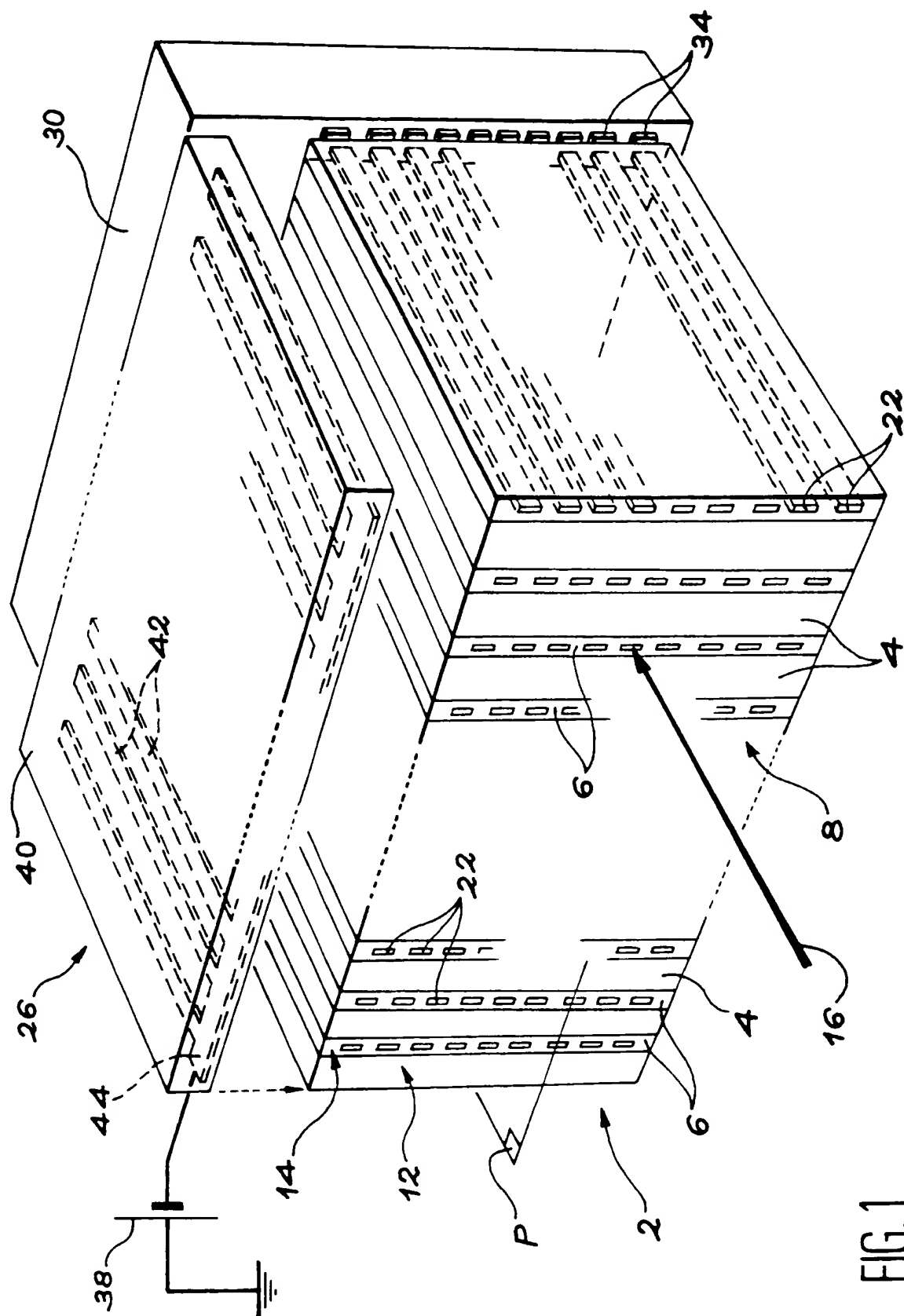


FIG. 1



2 / 3

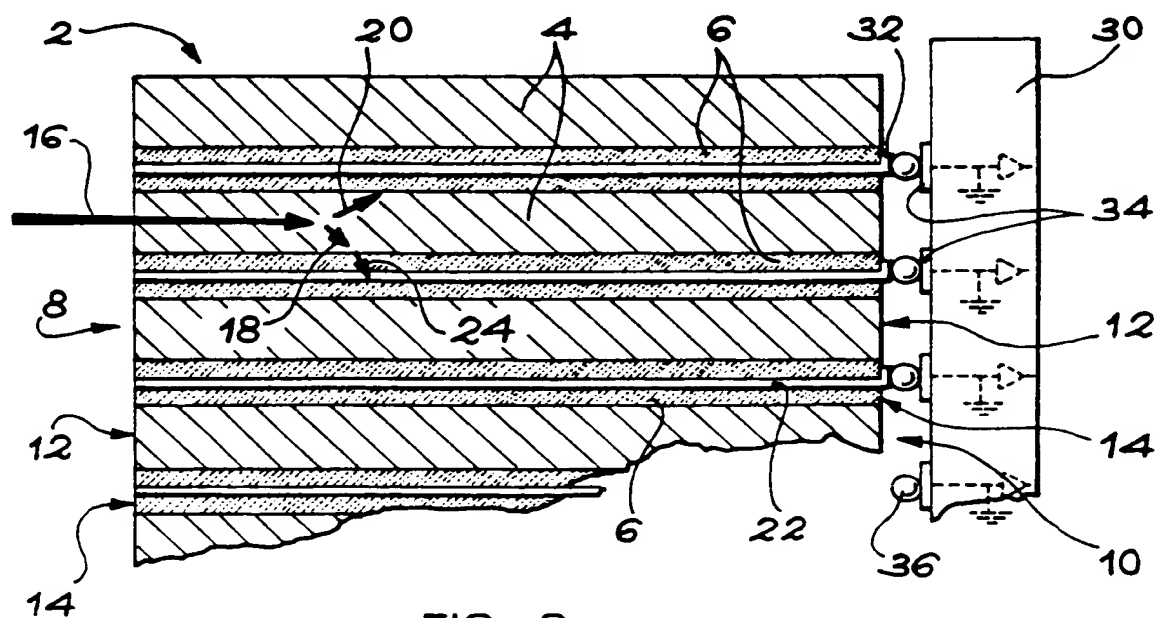
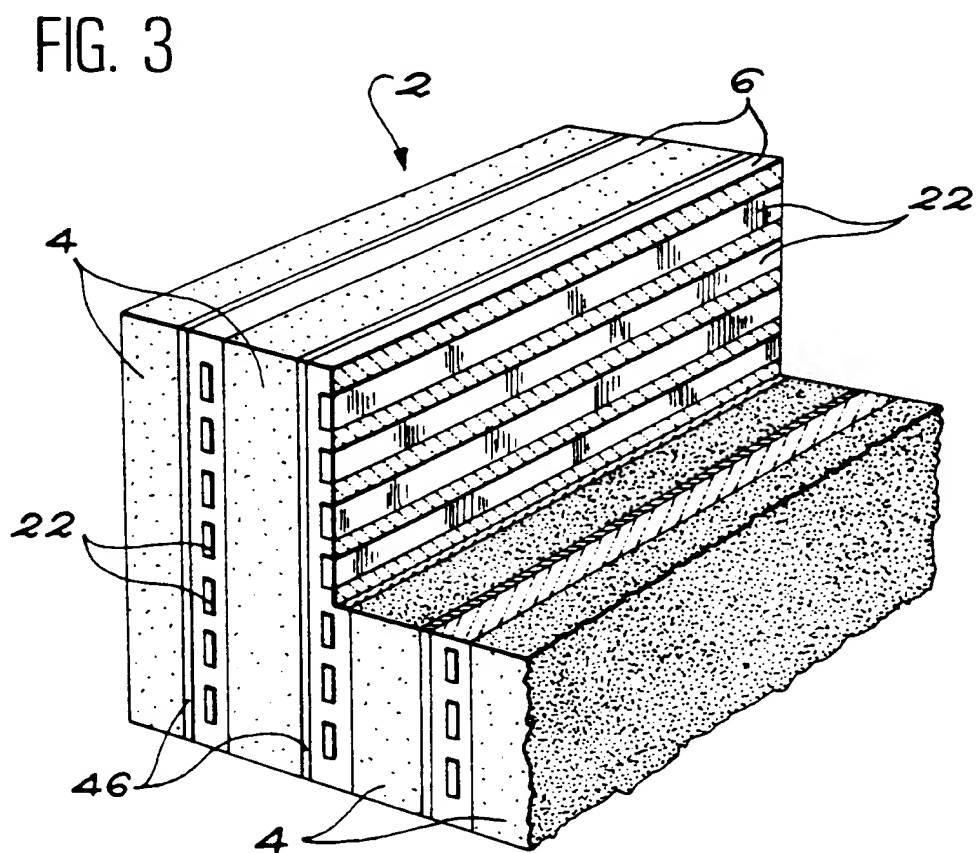


FIG. 2





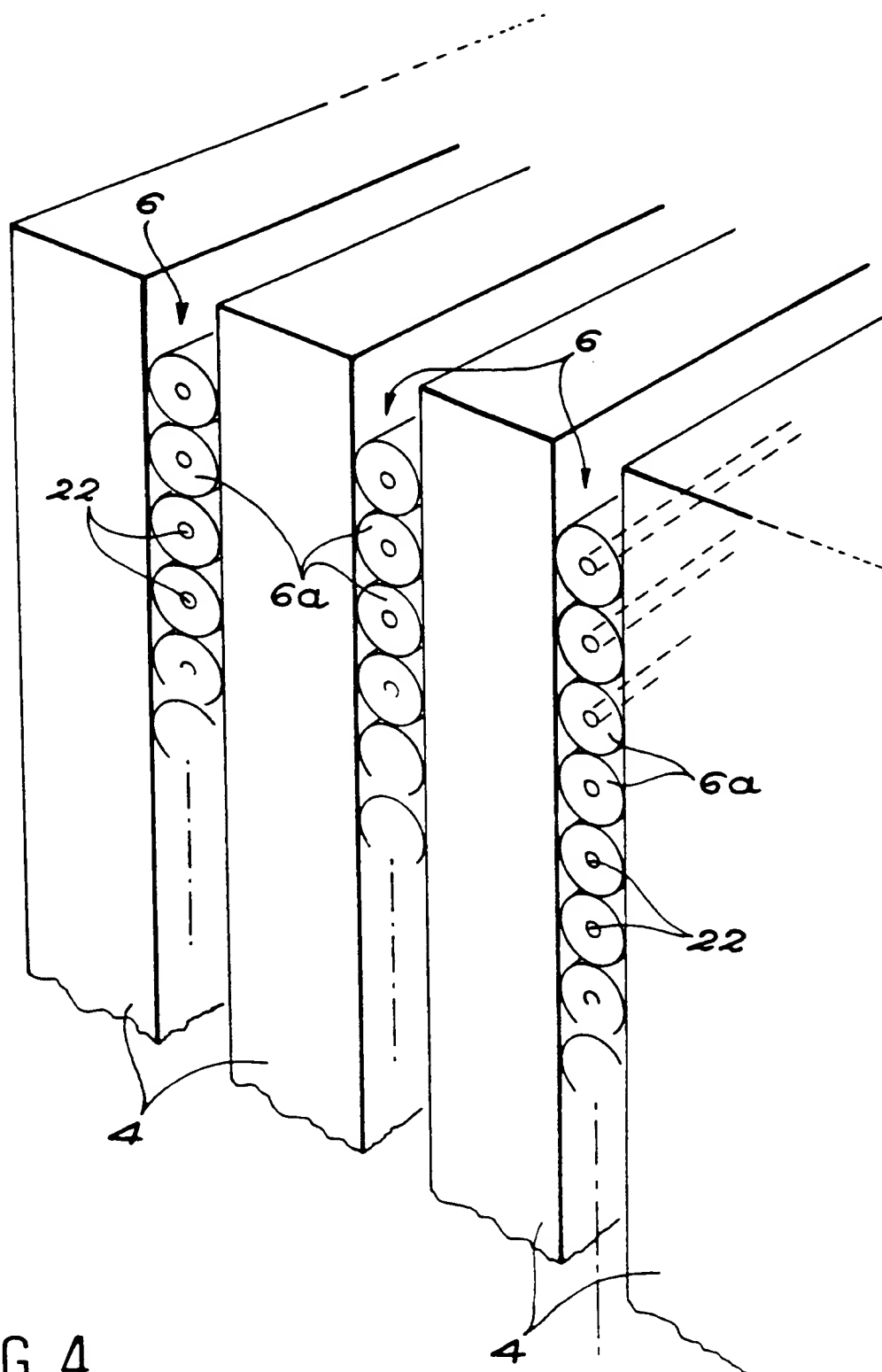


FIG. 4





## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Inte Application No  
PCT/FR 00/00917

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01T1/24 G01T1/29

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G01T

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, EPO-Internal, PAJ, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 5 117 114 A (STREET ROBERT A ET AL) 26 May 1992 (1992-05-26) column 11, line 38 - line 57; figure 15	1
A	US 4 210 805 A (KOBAYASHI TETSUJI ET AL) 1 July 1980 (1980-07-01) column 6, line 28 - line 50; figure 19	1
A	JEAVONS A P ET AL: "The high-density multiwire drift chamber" NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS, 1 MARCH 1975, NETHERLANDS, vol. 124, no. 2, pages 491-503, XP002123000 ISSN: 0029-554X cited in the application figure 1	1

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

19 July 2000

Date of mailing of the international search report

27/07/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2260 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3018

Authorized officer

Anderson, A

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/FR 00/00917

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5117114	A	26-05-1992	NONE	
US 4210805	A	01-07-1980	JP 1193159 C	29-02-1984
			JP 53101989 A	05-09-1978
			JP 58023911 B	18-05-1983
			JP 1194849 C	12-03-1984
			JP 53103386 A	08-09-1978
			JP 58026674 B	04-06-1983
			JP 1202268 C	25-04-1984
			JP 53105180 A	13-09-1978
			JP 58033717 B	21-07-1983
			JP 53105181 A	13-09-1978
			JP 53105182 A	13-09-1978
			JP 1209683 C	29-05-1984
			JP 53142886 A	12-12-1978
			JP 58041666 B	13-09-1983
			DE 2806858 A	24-08-1978
			GB 1559664 A	23-01-1980

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Den  
PCT/FR 00/00917

A. CLASSEMENT DE L'OBJET DE LA DEMANDE  
CIB 7 G01T1/24 G01T1/29

Selon la classification internationale des brevets (CIB) ou à la fois selon la classification nationale et la CIB

## B. DOMAINES SUR LESQUELS LA RECHERCHE A PORTE

Documentation minimale consultée (système de classification suivi des symboles de classement)  
CIB 7 G01T

Documentation consultée autre que la documentation minimale dans la mesure où ces documents relèvent des domaines sur lesquels a porté la recherche

Base de données électronique consultée au cours de la recherche internationale (nom de la base de données, et si réalisable, termes de recherche utilisés)  
WPI Data, EPO-Internal, PAJ, INSPEC

## C. DOCUMENTS CONSIDERES COMME PERTINENTS

Catégorie *	Identification des documents cités, avec, le cas échéant, l'indication des passages pertinents	no. des revendications visées
A	US 5 117 114 A (STREET ROBERT A ET AL) 26 mai 1992 (1992-05-26) colonne 11, ligne 38 - ligne 57; figure 15	1
A	US 4 210 805 A (KOBAYASHI TETSUJI ET AL) 1 juillet 1980 (1980-07-01) colonne 6, ligne 28 - ligne 50; figure 19	1
A	JEAVONS A P ET AL: "The high-density multiwire drift chamber" NUCLEAR INSTRUMENTS AND METHODS, 1 MARCH 1975, NETHERLANDS, vol. 124, no. 2, pages 491-503, XP002123000 ISSN: 0029-554X cité dans la demande figure 1	1



Voir la suite du cadre C pour la fin de la liste des documents



Les documents de familles de brevets sont indiqués en annexe

### \* Catégories spéciales de documents cités:

- "A" document définissant l'état général de la technique, non considéré comme particulièrement pertinent
- "E" document antérieur, mais publié à la date de dépôt international ou après cette date
- "L" document pouvant jeter un doute sur une revendication de priorité ou cité pour déterminer la date de publication d'une autre citation ou pour une raison spéciale (telle qu'indiquée)
- "O" document se référant à une divulgation orale, à un usage, à une exposition ou tous autres moyens
- "P" document publié avant la date de dépôt international, mais postérieurement à la date de priorité revendiquée

"T" document ultérieur publié après la date de dépôt international ou la date de priorité et n'appartenant pas à l'état de la technique pertinent, mais cité pour comprendre le principe ou la théorie constituant la base de l'invention

"X" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme nouvelle ou comme impliquant une activité inventive par rapport au document considéré isolément

"Y" document particulièrement pertinent; l'invention revendiquée ne peut être considérée comme impliquant une activité inventive lorsque le document est associé à un ou plusieurs autres documents de même nature, cette combinaison étant évidente pour une personne du métier

"Z" document qui fait partie de la même famille de brevets

Date à laquelle la recherche internationale a été effectivement achevée

19 juillet 2000

Date d'expédition du présent rapport de recherche internationale

27/07/2000

Nom et adresse postale de l'administration chargée de la recherche internationale  
Office Européen des Brevets, P.B. 5618 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Fonctionnaire autorisé

Anderson, A

# RAPPORT DE RECHERCHE INTERNATIONALE

Renseignements relatifs aux familles de brevets

Je internationale No

PCT/FR 00/00917

Document brevet cité au rapport de recherche	Date de publication	Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
US 5117114 A	26-05-1992	AUCUN	
US 4210805 A	01-07-1980	JP 1193159 C	29-02-1984
		JP 53101989 A	05-09-1978
		JP 58023911 B	18-05-1983
		JP 1194849 C	12-03-1984
		JP 53103386 A	08-09-1978
		JP 58026674 B	04-06-1983
		JP 1202268 C	25-04-1984
		JP 53105180 A	13-09-1978
		JP 58033717 B	21-07-1983
		JP 53105181 A	13-09-1978
		JP 53105182 A	13-09-1978
		JP 1209683 C	29-05-1984
		JP 53142886 A	12-12-1978
		JP 58041666 B	13-09-1983
		DE 2806858 A	24-08-1978
		GB 1559664 A	23-01-1980